



## Busca de UHECRs em Regiões com Excesso de Emissão de Raios $\gamma$

Rafael Alves Batista, Ernesto Kemp, Rogério Menezes de Almeida, Bruno Daniel

Instituto de Física Gleb Wataghin

10 de outubro de 2008

Busca de UHECRs em Regiões com Excesso de Emissão de Raios  $\gamma$

Rafael Alves Batista

Motivações Científicas

Raios Cósmicos Ultra-Energéticos

O Observatório Pierre Auger

Conjunto de Dados

Mapa de Eventos

Mapa de Cobertura

Mapa da Diferença

Significância Estatística

Limite Superior de Fluxo

Resultados

Conclusões

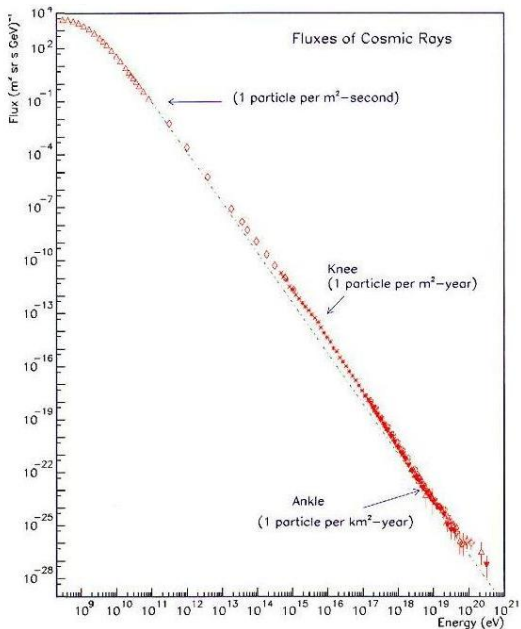
- ▶ Em 1992 a colaboração do experimento JANZOS reportou a existência de 7 regiões do céu com excesso de emissão de raios  $\gamma$ .
- ▶ Raios  $\gamma$  podem ser produzidos pela interação de UHECRs (*Ultra-High Energy Cosmic Rays*) com a radiação cósmica de fundo.
- ▶ Além disso, alguns modelos prevêem que raios  $\gamma$  e UHECRs podem ser produzidos, simultaneamente, em objetos astrofísicos.

- As 7 regiões com excesso de emissão de raios  $\gamma$  são indicadas na tabela.

#	Ascensão Retá	Declinação	Excesso( $\sigma$ )
1	01h01'30"	-61,00°	4,72
2	13h46'30"	-17,25°	4,19
3	16h23'00"	-20,25°	4,19
4	00h52'30"	-17,50°	4,12
5	21h09'00"	-22,75°	4,10
6	16h11'00"	-56,75°	4,05
7	08h10'00"	+39,25°	4,05

- ▶ Raios c3smicos ultra-energ3ticos (UHECRs) s3o partículaas que v3m do espa3o, cuja energia 3 superior a  $10^{18}$  eV (1 EeV). Seu fluxo 3 baixíaa, cerca de 1 partícula por  $\text{km}^2$  por ano, como mostra a figura.

# Raios C3smicos Ultra-Energ3ticos



Busca de UHECRs em  
Regi3es com Excesso de  
Emiss3o de Raios  $\gamma$

Rafael Alves Batista

Motiva3es Científicas

Raios C3smicos  
Ultra-Energ3ticos

O Observat3rio Pierre  
Auger

Conjunto de Dados

Mapa de Eventos

Mapa de Cobertura

Mapa da Diferen3a

Signific3ncia Estatística

Limite Superior de Fluxo

Resultados

Conclus3es

# O Observatório Pierre Auger

- ▶ O Observatório de Raios Cósmicos Pierre Auger é uma colaboração de 17 países para estudo de UHECRs, as mais energéticas e raras partículas do universo. Com ineditismo no uso de uma técnica híbrida de detecção (detectores de fluorescência+detectores de superfície), o observatório opera de maneira estável desde 2004.

Busca de UHECRs em  
Regiões com Excesso de  
Emissão de Raios  $\gamma$

Rafael Alves Batista

Motivações Científicas

Raios Cósmicos  
Ultra-Energéticos

O Observatório Pierre  
Auger

Conjunto de Dados

Mapa de Eventos

Mapa de Cobertura

Mapa da Diferença

Significância Estatística

Limite Superior de Fluxo

Resultados

Conclusões

# O Observatório Pierre Auger

Busca de UHECRs em  
Regiões com Excesso de  
Emissão de Raios  $\gamma$

Rafael Alves Batista

Motivações Científicas

Raios Cósmicos  
Ultra-Energéticos

O Observatório Pierre  
Auger

Conjunto de Dados

Mapa de Eventos

Mapa de Cobertura

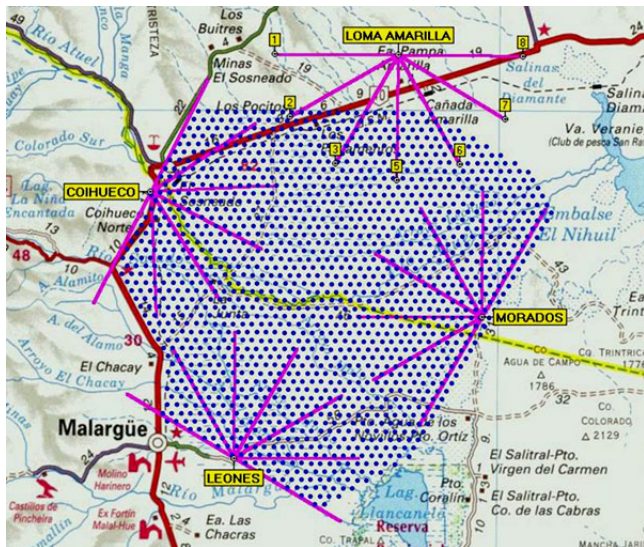
Mapa da Diferença

Significância Estatística

Limite Superior de Fluxo

Resultados

Conclusões



# Detectores de Superfície

Busca de UHECRs em  
Regiões com Excesso de  
Emissão de Raios  $\gamma$

Rafael Alves Batista

Motivações Científicas

Raios Cósmicos  
Ultra-Energéticos

O Observatório Pierre  
Auger

Conjunto de Dados

Mapa de Eventos

Mapa de Cobertura

Mapa da Diferença

Significância Estatística

Limite Superior de Fluxo

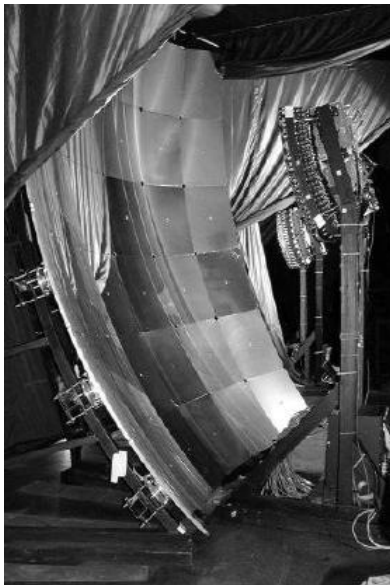
Resultados

Conclusões





# Detectores de Fluorescência



Busca de UHECRs em  
Regiões com Excesso de  
Emissão de Raios  $\gamma$

Rafael Alves Batista

Motivações Científicas

Raios Cósricos  
Ultra-Energéticos

O Observatório Pierre  
Auger

Conjunto de Dados

Mapa de Eventos

Mapa de Cobertura

Mapa da Diferença

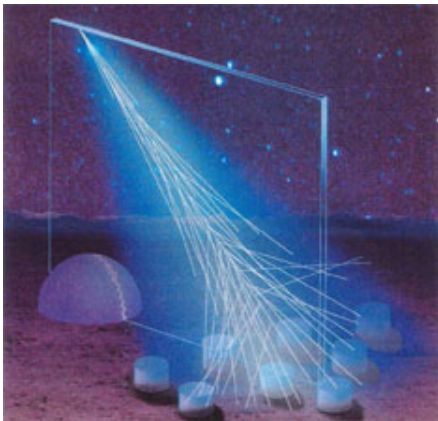
Significância Estatística

Limite Superior de Fluxo

Resultados

Conclusões

# Técnica de Detecção



Busca de UHECRs em  
Regiões com Excesso de  
Emissão de Raios  $\gamma$

Rafael Alves Batista

Motivações Científicas

Raios Cósmicos  
Ultra-Energéticos

O Observatório Pierre  
Auger

Conjunto de Dados

Mapa de Eventos

Mapa de Cobertura

Mapa da Diferença

Significância Estatística

Limite Superior de Fluxo

Resultados

Conclusões

- ▶ Período: 01/01/2004 até 15/02/2008
- ▶ Corte em energia: 1.12 EeV
- ▶ Ângulo zenital  $\theta < 60^\circ$
- ▶ 149144 eventos
- ▶ Filtro gaussiano:  $2^\circ$

# Mapa de Eventos

Busca de UHECRs em  
Regiões com Excesso de  
Emissão de Raios  $\gamma$

Rafael Alves Batista

Motivações Científicas

Raios Cósmicos  
Ultra-Energéticos

O Observatório Pierre  
Auger

Conjunto de Dados

Mapa de Eventos

Mapa de Cobertura

Mapa da Diferença

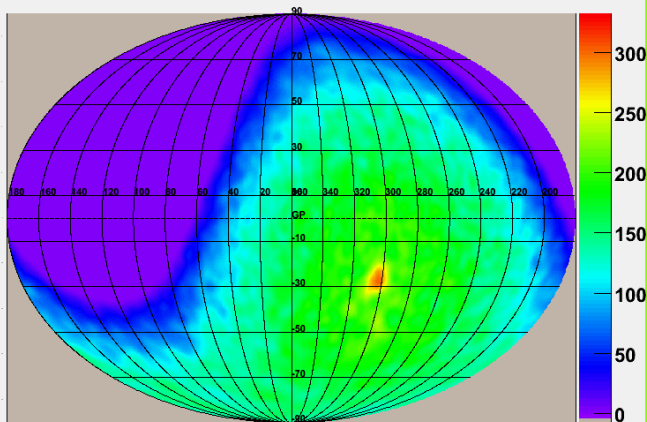
Significância Estatística

Limite Superior de Fluxo

Resultados

Conclusões

Events Map (Smoothed) (l,b)=(0,0), full sky



- ▶ Obtido utilizando o método semi-analítico.
- ▶ Aceitância (cobertura) obtido através da seguinte integração numérica:

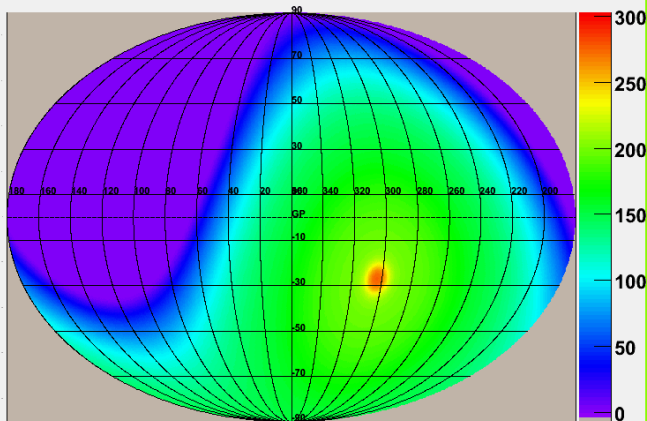
$$C(\delta) = \int_0^{24h} a[\theta(\alpha, \delta)] d\alpha \quad (1)$$

# Mapa de Cobertura

Busca de UHECRs em  
Regiões com Excesso de  
Emissão de Raios  $\gamma$

Rafael Alves Batista

Coverage Map (Smoothed) (l,b)=(0,0), full sky



Motivações Científicas

Raios Cósmiticos  
Ultra-Energéticos

O Observatório Pierre  
Auger

Conjunto de Dados

Mapa de Eventos

Mapa de Cobertura

Mapa da Diferença

Significância Estatística

Limite Superior de Fluxo

Resultados

Conclusões

# Mapa da Diferença

Busca de UHECRs em  
Regiões com Excesso de  
Emissão de Raios  $\gamma$

Rafael Alves Batista

Motivações Científicas

Raios Cósmicos  
Ultra-Energéticos

O Observatório Pierre  
Auger

Conjunto de Dados

Mapa de Eventos

Mapa de Cobertura

Mapa da Diferença

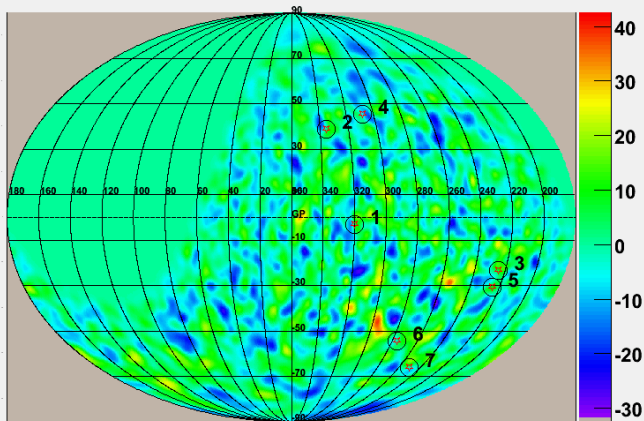
Significância Estatística

Limite Superior de Fluxo

Resultados

Conclusões

Difference Map (smoothed) (l,b)=(0,0), full sky



# Significância Estatística

- ▶ A significância foi calculada utilizando o método estatístico de Li e Ma, muito utilizado em astronomia de raios  $\gamma$ . A significância é dada por:

$$S = \sqrt{2} \left[ N_{on} \ln \left[ \frac{1 + \kappa}{\kappa} \left( \frac{N_{on}}{N_{on} + N_{off}} \right) \right] + N_{off} \ln \left[ (1 + \kappa) \left( \frac{N_{off}}{N_{on} + N_{off}} \right) \right] \right]^{1/2}$$

- ▶  $N_{on}$ : número de eventos observados no pixel da região candidata à fonte
- ▶  $N_{off}$ : número de eventos provenientes do fundo
- ▶  $\kappa$ : constante de normalização dada por:  $\kappa = \frac{t_{on}}{t_{off}}$



# Mapa das Significâncias

Busca de UHECRs em  
Regiões com Excesso de  
Emissão de Raios  $\gamma$

Rafael Alves Batista

Motivações Científicas

Raios Cósmicos  
Ultra-Energéticos

O Observatório Pierre  
Auger

Conjunto de Dados

Mapa de Eventos

Mapa de Cobertura

Mapa da Diferença

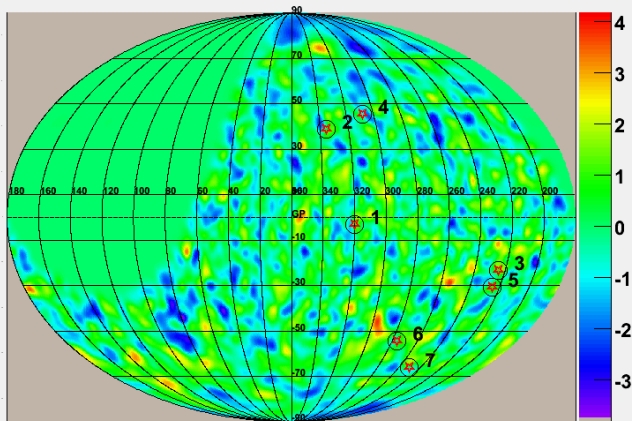
**Significância Estatística**

Limite Superior de Fluxo

Resultados

Conclusões

Li & Ma Map (l,b)=(0,0), full sky



# Distribuição das Significâncias

Busca de UHECRs em  
Regiões com Excesso de  
Emissão de Raios  $\gamma$

Rafael Alves Batista

Motivações Científicas

Raios Cósmicos  
Ultra-Energéticos

O Observatório Pierre  
Auger

Conjunto de Dados

Mapa de Eventos

Mapa de Cobertura

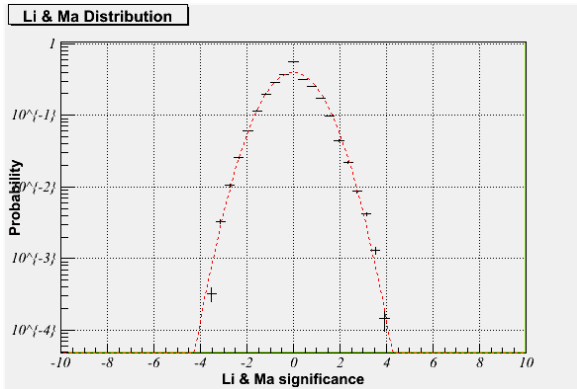
Mapa da Diferença

Significância Estatística

Limite Superior de Fluxo

Resultados

Conclusões



- Utilizando para a contagem de eventos a aproximação gaussiana:

$$N(n_{bg} + \mu_s^\beta, n_{bg}/2 + 2\mu_s^\beta/3)$$

o número máximo de eventos  $\mu_s^\beta$  vindos da fonte, com um nível de confiança  $\beta$  pode ser extraído da equação:

$$n_{obs} - (n_{bg} + \mu_s^\beta) = C_\beta \sqrt{\frac{n_{bg}}{2} + \frac{2\mu_s^\beta}{3}} \quad (3)$$

Para um nível de confiança de 95%,  $C_\beta=1,64$ .

- ▶ Se a forma do fluxo da fonte é a mesma do fluxo geral de raios cósmicos na faixa de energia na qual deseja-se estabelecer o limite superior de fluxo então a abertura é a mesma no cálculo de ambos os fluxos. Assim, pode-se relacionar o limite superior de fluxo da fonte através da razão entre  $\mu_s^\beta$  e o fundo esperado. Desta forma, para um filtro gaussiano de parâmetro  $\sigma$ :

$$\Phi_s^\beta = \frac{4\pi\mu_s^\beta\Phi_{CR}\sigma^2}{n_{bg}} \quad (4)$$

- ▶ Para energias acima de 1.12 EeV, o fluxo total de raios cósmicos é  $\Phi_{CR} = 22.26 \text{ km}^2 \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$

# Resultados

#	Significância( $\sigma$ )	Fluxo ( $\text{km}^{-2}.\text{yr}^{-1}$ )
1	0.24	0.114
2	-0.06	0.113
3	0.89	0.173
4	-0.42	0.089
5	1.03	0.179
6	-0.26	0.085
7	-0.056	0.104

Busca de UHECRs em  
Regiões com Excesso de  
Emissão de Raios  $\gamma$

Rafael Alves Batista

Motivações Científicas

Raios Cósmicos  
Ultra-Energéticos

O Observatório Pierre  
Auger

Conjunto de Dados

Mapa de Eventos

Mapa de Cobertura

Mapa da Diferença

Significância Estatística

Limite Superior de Fluxo

**Resultados**

Conclusões

- ▶ Não foram encontrados excessos de UHECRs em nenhuma das 7 regiões consideradas.
- ▶ Foi possível estimar a significância estatística e obter o limite superior de fluxo, com 95% de confiança, para os possíveis excessos de UHECRs.